

收稿日期: 2009-03-28

作者简介: 李子东(1940-),男,工学硕士学位,教授。主要从事胶粘剂、特种涂料、复合材料、粘接技术应用、环境保护等方面的教学、科研与开发。

## 硅烷偶联剂提升胶粘剂和粘接性能卓有成效

李子东,李春惠,李广宁

| 沈阳理工大学,辽宁 沈阳 110015 |

**摘要:** 介绍了有机硅烷偶联剂的结构特点;概述了近年来硅烷偶联剂在胶粘剂和粘接技术方面的应用效果;指出了悉心采用硅烷偶联剂则是胶粘剂和粘接性能改善的有效途径。

**关键词:** 硅烷偶联剂;胶粘剂;粘接;性能

**中图分类号:** TQ433.4'38 **文献标识码:** A  
**文章编号:** 1001-5922 (2009) 05-0030-06



偶联剂 (Coupling agent) 是一类分子2端含有能分别与无机物和有机物反应的性质不同官能团的低(高)分子化合物。其一端可与无机物表面反应,另一端则与有机物分子反应,以化学键形式将2种材料牢固地连接在一起。偶联剂在2种不同物质界面之间起着“分子桥”的作用,从而改善了胶粘剂的湿润性能,增加了界面的粘合性能,消除了内应力,显著提高了力学性能、耐湿热老化性和使用的耐久性。因此,可以认为偶联剂是具有2性结构和独特功能的增进无机物与有机物之间粘接性能的助剂,故又称粘接促进剂。偶联剂按照化学结构分为有机硅烷类和非硅烷类,其中以硅烷类最为重要。

硅烷偶联剂最先由美国联合碳化物公司(UCC)开发成功<sup>[1]</sup>,是问世最早、品种最多、用量最大、应用最广的一类偶联剂,被誉为“工业味精”,确实恰如其分。

### 1 硅烷偶联剂的结构特点

硅烷偶联剂的分子结构中既含有机基团,又含无机结构,是一种杂化结构。这种特殊组分和分子结构使它

兼具有有机物特性和无机物功能,具有优良的耐水性、耐热性、耐候性、耐化学品性、低表面张力等。硅烷偶联剂的化学结构通式<sup>[2]</sup>为 $YRSiX_{3-n}$ , $n=0,1$ ,通常为0;Y为有机活性官能基团,如氨基、氨基乙基、环氧基、乙烯基、环氧环己基、甲基丙烯酸氧基、巯基、异氰酸酯基、氯等,能与聚合物分子反应形成共价化学键;R为亚烷基 $[-(CH_2)_m-]$ 或亚苯基 $[-C_6H_4-]$ , $m=1, \geq 3$ ,很少为2;X为易水解基团,如甲氧基、乙氧基、甲氧乙氧基、乙酰氧基或氯等,X先水解成硅醇,再与无机物表面的羟基或氧化物发生缩合反应,生成稳定的硅氧键。不同的水解官能团水解速度快慢有差异,氯>乙酰氧基>甲氧基>乙氧基,但对性能影响不大。

### 2 硅烷偶联剂的应用效果

硅烷偶联剂的两性结构和独特功能,已成为胶粘剂改性和粘接性能提高的有效途径,明显提高粘接强度、韧性、耐水性、耐热性、耐湿热老化性、耐久性等。

#### 2.1 增强又增韧

硅烷偶联剂中硅氧烷水解生成的硅醇( $\text{-Si-OH}$ )能与被粘物和填料表面上的羟基或氧化物反应形成化学键,有机活性官能团与胶粘剂反应也形成化学键,由于化学键能(100~1 000 kJ/mol)比分子间力(10~50 kJ/mol)要高1~2个数量级,若能形成化学键,自然会获得高强度的粘接。硅醇缩聚生成的硅氧( $\text{Si-O-Si}$ )键柔韧性好,也增加了胶粘剂的韧性。

王志勇等<sup>[3]</sup>以E-51环氧树脂、改性脂环胺和低分子聚酰胺300的复合固化剂、奇士增韧剂(QS-BE)、活性硅微粉、DMP-30、气相 $\text{SiO}_2$ 、KH-550硅烷偶联剂等制得了建筑结构胶粘剂,剪切强度(钢-钢)达23.9 MPa,而未用KH-550处理的 $\text{SiO}_2$ 仅为18.8 MPa。

李旭日等<sup>[4]</sup>研究了经硅烷偶联剂处理的石英粉和滑石粉对环氧胶粘剂性能的影响。实验发现,KH-550处理后的石英粉具有更高的活性,环氧胶的剪切强度提高了50%,冲击强度也大大提高。

刘彦军等<sup>[5]</sup>采用KH-570处理铜粉(200目)制备了光固化环氧丙烯酸酯导电胶。实验表明,随着KH-570用量增大,导电性和粘接强度均有提高,但若用量过大,KH-570包覆在铜粉表面,使铜粉粒子间无法实现导电通路,影响导电性能。当KH-570质量分数4%时,导电性和粘接强度最佳。KH-570偶联剂对铜粉具有一定的保护作用,防止铜粉暴露在空气中而被氧化。

袁慧五等<sup>[6]</sup>利用KH-550、KH-560硅烷偶联剂对空心玻璃微珠(QH-550,20~85  $\mu\text{m}$ )进行改性,加入E-51环氧树脂中,固化后测定力学性能。未改性空心玻璃微珠填充环氧树脂体系的拉伸强度、弯曲强度、弯曲模量分别为38.4、55.8、3 240 MPa;KH-550改性者分别为43.4、75.1、3 510 MPa;KH-560改性者分别为41.8、64.1、3 480 MPa。由上可见,KH-550改性效果优于KH-560,其原因是KH-550与空心玻璃微珠表面所形成的 $\text{Si-O-Si}$ 键比KH-560短,与空心玻璃微珠表面结合力强。

余红梅等<sup>[7]</sup>以硅烷偶联剂(KH-550等)对硫酸钙晶须进行处理,将处理后晶须质量分数3%加入到聚氨酯胶粘剂中,改性后比未处理的晶须明显提高粘接的力学性能,拉伸强度提高了16 MPa,初粘性提高了1.2 kN/m,终粘剥离强度提高了2.9 kN/m。这是因为 $\text{CaSO}_4$ 晶须经硅烷偶联剂处理后,晶须与基体之间界面粘接作用增强,聚氨酯胶粘剂的力学性能明显提高。 $\text{CaSO}_4$ 晶须的FT-IR结果表明,晶须含有少量羟基,能与硅烷偶联剂分子中的烷氧基作用形成一层偶联的单分子膜,在晶须表

面包覆一层过渡层,使晶须与基体之间形成良好的粘接界面。当材料经受破坏时,易引发微裂纹,并终止裂纹扩展,有利于应力传递,而使强度和韧性大增。

杨敏等<sup>[8]</sup>在制备单组分RTV硅橡胶时,分别加入硅烷偶联剂二乙胺基甲基三乙氧基硅烷(ND-22)、苯胺甲基三乙氧基硅烷(ND-42)和KH-550。实验表明,3种偶联剂都能提高内聚强度、粘接性能和耐油性能。当ND-22质量分数为1%时RTV硅橡胶的综合性能最佳,其次是ND-42。

殷锦捷等<sup>[9]</sup>采用KH-560偶联剂包覆三聚氰胺多聚磷酸酯(MPP)为阻燃剂、E-44环氧树脂、低分子聚酰胺651、T-31固化剂、DMP-30促进剂等制得了阻燃环氧树脂胶粘剂,其剪切强度19.9 MPa,比普通环氧树脂胶粘剂的剪切强度(10.3 MPa)提高93.2%,氧指数为31.2。

罗穗莲等<sup>[10]</sup>采用硅烷偶联剂KH-580(A-189)、KH-590(A-1891)、KH-560等处理超细碳酸钙,制备室温硫化单组分硅橡胶密封胶,研究了硅烷偶联剂的种类、用量及其表面改性方法对密封胶性能的影响。结果表明,KH-580(疏丙基三甲氧基硅烷)质量分数为1.4%时,处理的 $\text{CaCO}_3$ 对密封胶的增强效果最好,其拉伸强度为0.57 MPa,断裂伸长率159.6%,优于KH-560(拉伸强度0.52 MPa,断裂伸长率80.5%)。

将纳米 $\text{SiO}_2$ 用硅烷偶联剂A-151处理后,有效地分散为纳米粒子,与原位乳液聚合而得的聚丙烯酸酯复合,制备了高性能的聚丙烯酸酯/纳米 $\text{SiO}_2$ 有机-无机复合的压敏胶乳液。因纳米 $\text{SiO}_2$ 的引入而提高了压敏胶乳液的内聚力和剥离强度<sup>[11]</sup>。VTPS硅烷偶联剂(乙烯基三叔丁基过氧硅烷)用作硅橡胶与钛合金粘接的胶粘剂,钛合金经细砂喷砂处理,硫化工艺:压力为10 MPa,170  $^\circ\text{C}$ 保持15 min,粘接强度2.3 MPa。VTPS用作硅橡胶-金属高温硫化粘接的增黏剂则有特效,加入2质量份VTPS能使硅橡胶与铝或不锈钢硫化粘接的剪切强度由<0.4 MPa提高到5 MPa以上<sup>[12]</sup>。

## 2.2 提高耐水性和耐久性

硅烷偶联剂分子中的烷氧基团水解生成硅醇,吸附在被粘物表面上,与其表面上的活性基团(如羟基)缩合形成 $\text{Si-O-S}$ (被粘物)化学键,并在界面上缩聚成硅氧烷聚合物,形成一层疏水膜,覆盖在基体表面,可有效防止水分渗漏、扩散,致使耐水性提高。同时,偶联剂的有机活性基团与胶粘剂反应形成化学键,通过偶联剂的分子桥作用使胶层与被粘物实现化学键结合牢固耐

久。以环氧树脂与低氨数胺类固化剂加入KH-560或KH-792硅烷偶联剂粘接带油钢材,在水煮后仍有很好的耐久性,其原因是固化剂与钢的结合面之间有化学作用,红外光谱已证明胺固化剂与油内的钙化物形成了盐<sup>[12]</sup>。由于硅烷偶联剂能够极大地提高粘接强度、耐水性、耐湿热老化性,还能减小或消除界面内应力,从而使粘接结构更加可靠耐久,有报道说硅烷偶联剂可使耐久性提高1~2倍。

将经过常规处理后的45#钢表面涂覆一层1%的KH-550偶联剂乙醇溶液(95%),晾干后于80~100℃烘干30 min,加入3% KH-550的环氧-聚硫-聚酰胺胶粘剂进行粘接。室温48 h固化后测得剪切强度为30.8 MPa,浸水15 d后再测剪切强度没有变化,仍为内聚破坏,表现出极好的耐水性。而未用KH-550处理的45#钢,同样条件的粘接,室温剪切强度为20.5 MPa,经15 d浸水后剪切强度仅为7.6 MPa,呈界面破坏,并有明显锈迹,表明耐水性很差<sup>[14]</sup>。陈红梅等<sup>[15]</sup>以KH-560偶联剂改善水性聚氨酯的耐水性,当加入质量分数5%的KH-560时,吸水性明显降低,在室温或中温条件下KH-560的环氧基团可与水性聚氨酯分子中亲水的羧基反应,从而降低亲水性;硅烷的水解和缩合反应又能使聚氨酯大分子间产生一定的交联,同样可提高聚氨酯胶膜的耐水性。但是KH-560的水溶性较低,故对水性聚氨酯胶膜的改善效果差于氨丙啶化合物,若是改用KH-450水性硅烷偶联剂效果可能更好。

### 2.3 提高耐热性和耐湿热老化性

硅烷偶联剂的硅氧烷水解生成硅醇与羟基缩合形成含Si-O-Si结构的网络,类似无机硅酸盐的硅-氧键结构,若破坏这种硅-氧键则需要较高的能量,因而能耐受较高的温度,使胶粘剂的耐热性得以提高。

张斌等<sup>[16]</sup>采用二苯基二甲氧基硅烷合成了无溶剂型有机硅改性聚氨酯胶粘剂,提高了粘接性能、力学性能、耐热性能。测得室温拉伸强度28.3 MPa、断裂伸长率46.3%,300℃剪切强度>1.3 MPa。327℃热失重仅10%;680℃失重约66.1%。曾少敏等<sup>[17]</sup>首先制备了端羟基超支化聚氨酯-脲(HPU)和异氰酸酯封端的线型低聚物(A<sub>2</sub>),再以二者为原料反应制得异氰酸酯封端的超支化聚氨酯,并用适量的KH-550偶联剂与异氰酸酯反应改性,得到有机硅改性超支化聚氨酯。实验结果表明,聚合物的耐热性随着KH-550用量的增大而提高,开始分解的温度达到200℃,最大失重速率时对应的温度为362.9℃。

### 2.4 端基硅烷化

单组分聚氨酯胶粘剂存在着固化速度慢、易起泡、贮存稳定性差等缺点,若将硅烷偶联剂与异氰酸酯封端的聚氨酯反应,可得端基为活性硅氧烷的硅烷化聚氨酯(SPU),分子中既含聚氨酯链段,又有湿气固化的硅氧烷基团,其优点凸显。室温下吸收空气中水分可迅速交联固化,因不含-NCO基,固化时不会发泡,分子链中含有极性的氨基键和脲键,具有优良的粘接性,不加改性剂就有接触粘接性,因而可取代溶剂型橡胶胶粘剂;无游离异氰酸酯释放,真正无毒环保。

范兆荣等<sup>[18]</sup>以硅烷偶联剂KH-550(3%~12%)对聚氨酯预聚体进行封端,再配合助剂和填料制得了单组分硅氧烷改性聚氨酯密封胶,提高了粘接强度(由0.3 MPa升至1.95 MPa)和耐热性。王荣昌等<sup>[19]</sup>将氨基硅烷偶联剂(KH-550、KH-792)质量分数1%~3%加入硅烷基聚氨酯(SPU)预聚体中,因产生协同效应致使SPU密封胶对金属、玻璃、塑料等基材具有良好的粘接性能。双氨基硅烷偶联剂KH-792的固化速度快于KH-550。高明志<sup>[20]</sup>等以KH-550为封端剂制备了单组分湿固化聚氨酯(SPU)密封胶。曹云来等<sup>[21]</sup>以硅烷偶联剂N-苯基-γ-氨丙基三甲氧基硅烷(Y-9669)为封端剂,聚醚二元醇和三元醇、TDI(80/20)为主要原料,配合经处理的纳米CaCO<sub>3</sub>、辛酸亚锡、助催化剂、紫外线吸收剂、磷酸等研制成单组分硅烷封端聚氨酯密封胶。室温固化速度快,拉伸强度2.83 MPa,断裂伸长率376.6%,对玻璃、铝合金、大理石等都有良好的粘接性。唐礼道等<sup>[22]</sup>采用预聚体法合成出KH-550封端的聚氨酯热熔胶(SPUR),研究表明,硅烷提高了SPUR在粘接表面的润湿性和对铝片的粘接性,当硅烷封端率达到15%时,粘接性能最佳。余文骊<sup>[23]</sup>以γ-氨丙基三甲氧基硅烷(KH-551)封端水性聚氨酯(WPU)乳液,其乳液稳定性、成膜性都优于未改性的WPU。当KH-551质量分数为4%~5%时,可使乳液的表面张力大幅下降,胶膜耐水性、耐溶剂性提高,力学性能也有所改善。德国Wacker公司开发了硅烷封端聚醚类胶粘剂,牌号为GENIOSIL STP-E,包括快速固化的α-硅烷基胶粘剂,其独特的硅烷化作用和湿气固化机理,不仅可避免有害物质异氰酸酯的使用,而且无需催化剂。这种带有α-硅烷基聚合物通常黏度低,可在较大范围内控制固化速度和力学性能。同时,使用方便,易于配制,且安全环保。该产品已广泛用作建筑胶粘剂、工业弹性胶粘剂等<sup>[24]</sup>。

## 2.5 乙烯基封端

含有乙烯基的硅烷偶联剂,如A-151、A-171、A-172、KH-570等与含羟基等物质反应,获得乙烯基封端的中间物,再与含双键的单体进行共聚或接枝,达到有机硅改性的目的。通过羟基硅油与KH-570缩合形成含有甲基丙烯酸基的羟基硅油,再将其与丙烯酸类单体进行乳液聚合,得到性能优异的聚硅氧烷预聚体改性的丙烯酸酯乳液,成膜性好,乳液稳定,吸水性降低,拉伸强度提高<sup>[25]</sup>。赵勇刚等<sup>[26]</sup>由八甲基环四硅氧烷(D<sub>4</sub>)与乙烯基硅烷偶联剂(A-151)阴离子开环聚合,制得了乙烯基改性有机硅乳液,再用于聚丙烯酸酯乳液改性,使印花织物的干、湿摩擦色牢度增加,手感更柔软。实验发现,水解速度A-151小于KH-570,但聚合稳定性A-151大于KH-570,故用A-151最适宜。

## 2.6 用作交联剂

硅烷偶联剂中含有硅醇键,故可用作脱醇型RTV硅橡胶胶粘剂的交联剂,提高硅橡胶胶粘剂和密封胶对多种材料的粘接性能。以 $\alpha$ -官能团硅烷为自催化交联剂,制得的RTV-1水性硅橡胶的粘接性能随pH值升高而增加,当pH值>9.5时,粘接性能和持粘性较好<sup>[27]</sup>。作为有机硅密封胶的交联剂,尤其是 $\alpha$ -氨基硅烷,如苯胺甲基三乙氧基硅烷(ND-42)活性很大,可用作自催化交联剂,无需使用有害的有机锡催化剂和易黄变的有机钛络合物,无毒环保,还能避免因催化剂引起的密封胶高温硫化还原。而氨基丙基三乙氧基硅烷(KH-550)属 $\gamma$ -氨基硅烷,活性太小,若用作交联剂交联速度慢,需要添加催化剂加速交联反应。硅烷偶联剂用于有机硅密封胶可以改善界面粘附状况,提高内聚强度和粘接强度。尹以高等<sup>[28]</sup>合成了交联速度适中的有机硅氧烷,与端羟基聚二甲基硅氧烷(PDMS)、气相法SiO<sub>2</sub>、纳米CaCO<sub>3</sub>等制得了有机复合密封胶,对聚烯烃(PE、PP)材料有良好的粘接性能,破坏类型为混合破坏。

## 2.7 无机填料和增强材料的改性

硅烷偶联剂能与无机填料表面的羟基反应形成化学键,表面被有机物包覆,使表面由亲水性变为疏水性,既避免了填料粒子的相互聚集、沉降,又提高了胶粘剂对填料的湿润性。通过硅烷偶联剂的有机活性基团反应可使填料与胶粘剂中聚合物实现牢固结合、均匀分散、稳定存在,从而提高了胶粘剂的内聚强度和贮存稳定性,更好地发挥填料的增强、增韧、增硬、耐热、增量、增黏、绝缘、阻燃等作用。例如纳米TiO<sub>2</sub>表面存在大量羟基,与有机介质相容性较差,若以KH-570硅烷偶联

剂对TiO<sub>2</sub>处理,可将粒子表面由亲水性变为疏水性,提高了相容性。KH-570具有双反应性官能团,其硅氧烷基水解为硅醇(-SiOH),在一定条件下,可与纳米TiO<sub>2</sub>表面的羟基脱水缩合形成化学键,从而增大了纳米粒子之间的空间位阻,使其不易团聚而提高了分散性。同时,纳米TiO<sub>2</sub>表面引入的C=C双键,又能与氰基丙烯酸酯或甲基丙烯酸酯共聚,使纳米TiO<sub>2</sub>稳定分散于胶粘剂体系之中,因此能够提高瞬干胶和快固丙烯酸酯结构胶的耐热性和耐老化性,也会减小胶层的脆性。

玻璃纤维(布)是最常用的粘接增强材料,虽然脱蜡后用于粘接就有很好的增强效果,但若用硅烷偶联剂处理后再粘接效果更佳。具体方法是将玻璃纤维(布)放入质量分数1%~2%的KH-550乙醇(95%)溶液中浸泡1~2h,取出后晾干再缠绕或粘贴。碳纤维(布、板)代替钢板采用环氧胶粘剂对钢筋混凝土建筑结构进行补强加固轻质高强,防腐耐久。由于碳纤维表面的化学惰性,使其与环氧树脂相容性不好,碳纤维(布、板)用作粘接的增强材料必须进行表面处理。虽然用硝酸处理能较大提高粘接剪切强度(23.9 MPa),但却存在有毒害、污染环境、较麻烦、不安全等弊端,而用KH-550硅烷偶联剂处理后剪切强度虽然稍低(22.9 MPa),却很简单,又无毒环保。硅烷偶联剂可提高纤维/基体间的界面剪切强度、弯曲强度和耐湿热性能<sup>[29]</sup>。KH-550/PU(聚氨酯)涂层的玻璃纤维单丝比原纤维拉伸强度提高了28.2%。KH-550涂层后的碳纤维复合材料层间剪切强度比无涂层的提高约3 MPa。用KH-550对芳纶纤维(APMOC)改性,当处理液质量分数为5%时,APMOC/EP(环氧树脂)复合材料层间剪切强度比未处理的提高9~10 MPa。

## 2.8 硅烷技术表面处理优势尽显

欲要获得高强耐久的粘接,被粘物的表面处理极其重要,只有良好的被粘表面,才能使胶粘剂完全湿润,这是形成牢固粘接的首要条件。对于要求高强度的粘接表面除了普通方法处理,还必须进行化学处理,即酸、碱、盐、过氧化物的腐蚀和氧化,但强酸、强碱和铬盐都有毒害和环境污染,受到环保法规限制。而新发展起来的硅烷偶联剂表面处理方法,远比传统化学处理方法简单安全,其效果却可与化学处理法相媲美。硅烷技术实现了表面处理工艺新突破,已在欧洲和美国获得广泛应用<sup>[30]</sup>。硅烷技术表面处理环保节能,优势明显<sup>[31]</sup>。被粘物经硅烷偶联剂处理后,能获得与胶粘剂相匹配的临界表面张力,有利于胶粘剂的良好湿润,并使被粘物与胶

粘剂形成化学键结合,显著提高粘接强度、耐水性、耐湿热老化性和耐久性。郭增昌等<sup>[32]</sup>研究了KH-560硅烷偶联剂处理铝合金的粘接耐久性,结果表明,环境友好的硅烷化处理的粘接耐久性与铬酸盐处理的粘接耐久性相当。硅烷化处理的粘接件裂纹断裂能略高于铬酸盐处理的断裂能。

### 3 结语

硅烷偶联剂是一种两性结构、性能独特、改性高效、使用简便、环境友好、性价比优的功能性助剂。通过水解、缩合、缩聚等反应形成化学键、氢键结合以及物理吸附作用,改善了胶粘剂的湿润性、被粘物和填料的表面性质,形成牢固的粘接界面,从而提高了胶粘剂的内聚强度、粘接强度、耐水性、耐热性、耐湿热老化性、耐久性等。获得了较为广泛的应用,已成为胶粘剂和粘接性能改善的有效途径。近几年来,又开发出很多新型硅烷偶联剂,如长链环氧基硅烷偶联剂、异氰酸酯型硅烷偶联剂、含氟硅烷偶联剂、大分子硅烷偶联剂、无需水解硅烷偶联剂、水性硅烷偶联剂等,将会推进硅烷偶联剂在胶粘剂和粘接中应用的新发展。目前,国内硅烷偶联剂的产能约5万t/a,产量超过3万t/a,为推广应用提供了可靠保障。

### 参考文献

[1] E.P.普鲁特曼,等.梁发思,等译.硅烷和钛酸酯偶联剂[M].上海:上海科技文献出版社,1987.  
[2] 李子东,李广宇,宋颖楠.胶粘剂助剂[M].北京:化学工业出版社(第2版),2009.  
[3] 王志勇,刘学元,谭卫华.GN型建筑结构胶粘剂的开发[J],粘接,2007(4):30.  
[4] 李旭日,陆波.环氧树脂胶粘剂的增韧填充改性[J].辽宁化工,2006(8):449.  
[5] 刘彦军,常英.紫外光固化环氧丙烯酸酯导电胶[J].中国胶粘剂,2005(8):27.  
[6] 袁慧五,饶秋华.无机填料对低黏度高性能环氧树脂的影响[J].热固性树脂,2007(6):33.  
[7] 余红梅,苗磊,韩洪武,等.CaSO<sub>4</sub>晶须对聚氨酯胶粘剂性能影响的研究[J].中国胶粘剂,2006(6):5.  
[8] 杨敏,王翠花,李天书.单组分RTV硅橡胶粘接性的研究[J].粘接,2007(5):26.  
[9] 殷锦捷,李宁,张树.阻燃环氧树脂胶粘剂的研制[J].化学与黏合,2008(2):24.

[10] 罗德莲,潘慧铭,王跌林.硅烷偶联剂改性碳酸钙对室温硫化硅橡胶密封胶的性能影响[J].中国胶粘剂,2008(9):35.  
[11] 刘国军,张桂霞,潘慧铭,等.聚丙烯酸酯/纳米SiO<sub>2</sub>复合压敏胶乳液的性能及影响因素[J].中国胶粘剂,2006(5):21.  
[12] 李子东,李广宇,宋颖楠,等.胶粘剂助剂[M].北京:化学工业出版社(第2版),2009.  
[13] 李子东,李广宇,刘志军,等.实用胶粘技术[M].北京:国防工业出版社(第2版),2007.313.  
[14] 王德中.环氧树脂生产与应用.北京:化学工业出版社(第2版),2001.429.  
[15] 陈红梅,廖时勇,张爱民.提高水性聚氨酯耐水性的研究[J].中国胶粘剂,2009(1):13.  
[16] 张斌,孙海龙,矫彩山,等.有机硅改性聚氨酯胶粘剂的研究[J].中国胶粘剂,2006(4):11.  
[17] 曾少敏,刘丹,李启成,等.有机硅改性超支化聚氨酯的研究[J].化学与黏合,2008(5):38.  
[18] 范兆荣,吴晓青,刘运学,等.单组分硅氧烷改性聚氨酯密封胶的研制[J].中国胶粘剂,2008(4):41.  
[19] 王荣昌,李颖.硅烷基聚氨酯双组分弹性密封胶的研制[J].中国胶粘剂,2006(3):32.  
[20] 高明志,许戈文.端硅烷化聚丁二烯改性单组分聚氨酯密封胶的制备和性能探讨[J].中国胶粘剂,2006(6):22.  
[21] 曹云来,方珏,张祖宣,等.单组分硅烷封端聚氨酯密封胶的研制[J].粘接,2007(1):24.  
[22] 唐礼道,杨建军,张建安,等.硅烷封端的湿固化聚氨酯热熔胶的研制[J].中国胶粘剂,2007(4):37.  
[23] 余文颢.硅烷偶联剂封端改性水性聚氨酯的研究[J].中国胶粘剂,2008(6):10.  
[24] 李子东.硅烷封端聚醚类胶粘剂[J].粘接,2008(5):5.  
[25] 柳艳红,张心亚,陈焕钦.丙烯酸乳液改性研究进展[J].粘接,2008(5):35.  
[26] 赵勇刚,周世香.核壳型有机硅-丙烯酸酯涂料印花胶粘剂的合成及应用[J].粘接,2008(9):23.  
[27] 王云英,蒋颂波.室温硫化硅橡胶胶粘剂粘接增强改性研究进展[J].中国胶粘剂,2008(7):51.  
[28] 尹以高,陈晓燕,张艺,等.有机硅密封胶粘接聚烯烃材料的研究[J].中国胶粘剂,2007(2):10.  
[29] 朱文范,曾金芳,王斌.有机涂层在纤维增强聚合物基复合材料中的应用[J].热固性树脂,2008(4):55.  
[30] 李子东.硅烷技术实现表面处理工艺新突破[J].粘接,2008(4):48.  
[31] 李子东.硅烷技术表面处理环保节能[J].粘接,

### Silane coupling agents effectively to increase bonding performance of adhesives

LI Zi-dong, LI Chun-hui, LI Guang-yu

(Shenyang University of Technology, Shenyang, Liaoning 110015, China)

**Abstract:** The structural feature of silane coupling agents was introduced. Application effects of the silane coupling agents in adhesives and bonding technology during recent years were summarized. This paper indicated that carefully adopting of silane coupling agents is an efficient mean to improve adhesive performance and bonding properties.

**Key words:** silane coupling agent; adhesive; bonding; performance

**作者简介:** 李子东,男,1940年生,研究生毕业于北京工业学院(现为北京理工大学),工学硕士学位,沈阳理工大学教授。曾任沈阳工业学院应用化学研究所所长(正处级)、沈阳粘接协会常务理事,当代化工杂志编委、沈阳市科技局科技项目评审专家,化工组组长。现任中国胶粘剂工业协会顾问、粘接杂志编委会副主任委员、热固性树脂杂志编委、化学与黏合杂志编委会顾问。主要从事胶粘剂、特种涂料、复合材料、粘接技术应用、环境保护等方面的教学、科研与开发。先后有9项科研成果通过省部级鉴定。获全军科技进步三等奖1项。出版专著11部。发表论文50余篇。起草(第一起草人)并被批准发布国家化工行业标准一项(HG/T 3738—2004)。

# 热烈祝贺

## “上海市粘接技术协会-同济大学材料学院” 胶粘剂技术服务中心成立

随着胶粘剂行业的发展,产品更新换代的加快,胶粘剂企业对新技术新产品的需求越来越强烈。为了提高我国胶粘剂行业整体技术创新水平,本着更好地为企业会员服务的原则,上海粘接技术协会联合同济大学材料学院,共同建立“上海粘接技术协会-同济大学材料学院胶粘剂技术服务中心”,搭建产学研服务平台,共同促进胶粘剂行业的技术进步和发展。

本中心拥有大批来自高校、科研院所以及生产应用企业不同胶粘剂系列领域长年从事胶粘剂产品研发、生产及应用的行业资深专家组成专家服务团队,技术人才丰富,研发力量雄厚。

本中心主要为相关胶粘剂企业提供技术咨询、技术服务、技术开发和技术转让等全方位立体化的技术研发服务,期待与企业合作共同促进胶粘剂行业的创新和发展!

具体服务项目有:

### 1. 胶粘剂配方的开发

胶粘剂配方是产品质量的核心、是企业赖以生存的根本,同时也是实现差异化竞争获取高附加值的保证。

本中心依靠具有丰富经验的技术专家和先进实验分析测试设备为相关企业提供胶粘剂开发服务,特别是开发具有国际先进水平等高技术含量的胶粘剂以及新应用领域的胶粘剂产品。

### 2. 共建联合研发中心

本中心与企业合作共同建立技术研发中心,作为企业的技术支持部门,为企业提供专利、技术情报、研发方案、技术开发、技术项目申报以及技术培训等全方位的技术服务。

### 3. 胶粘剂选型以及使用测试

为用胶企业提供一站式打包服务(包括选择、测试、分析、评估),提供最佳的胶粘剂选择及使用方案。

**联系人: 贾老师 021-65983799 13585852368**

**地址: 上海赤峰路65号同济大学科技园701室 网址: www.51jnj.cn**

035

《粘接》杂志社 咨询电话: 0710-3820251-825/833 传真: 0710-3820811 E-mail: zhanjzz@263.net  
网址: www.zhanjie.com.cn